

## Moisture and density sensor

**Publication number:** EP0889321

**Publication date:** 1999-01-07

**Inventor:** HERRMANN RAINER DIPL-PHYS (DE)

**Applicant:** TEWS ELEKTRONIK (DE)

**Classification:**





- international: **G01N9/24; G01N22/00; G01N22/04; G01N9/24; G01N22/00;** (IPC1-7): G01N22/00; G01N22/04

- european: G01N22/00; G01N22/04






**Application number:** EP19980110821 19980612

**Priority number(s):** DE19972011571U 19970702

**Also published as:**

 US5977780 (A1)  
 JP2001066264 (A)  
 JP11125607 (A)  
 DE29711571U (U1)

**Cited documents:**

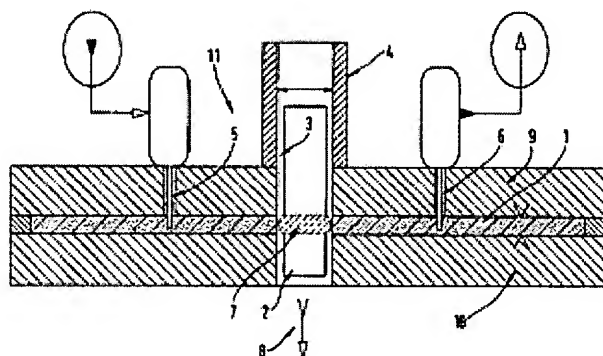
 EP0292571  
 DE2552954  
 US5554935  
 US5105158  
 EP0468023  
more >>

**Report a data error here**

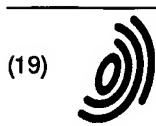
Abstract not available for EP0889321

Abstract of corresponding document: **US5977780**

A microwave resonator for connection to an instrument for measuring the density and/or moisture profile in the longitudinal direction of a sample, which microwave resonator has a through-hole (3) at right angles to its area extent, which through-hole (3) is bounded by metallic walls (4) extending in the longitudinal direction, distinguishes itself in that the interior (1) of the resonator is essentially flat, with a thickness which is considerably less than the lateral dimensions at right angles to it, and in that the resonator is filled with a dielectric.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11) EP 0 889 321 A1

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
07.01.1999 Patentblatt 1999/01

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>: G01N 22/00, G01N 22/04

(21) Anmeldenummer: 98110821.0

(22) Anmeldetag: 12.06.1998

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
AL LT LV MK RO SI

(30) Priorität: 02.07.1997 DE 29711571 U

(71) Anmelder: TEWS ELEKTRONIK  
D-22459 Hamburg (DE)

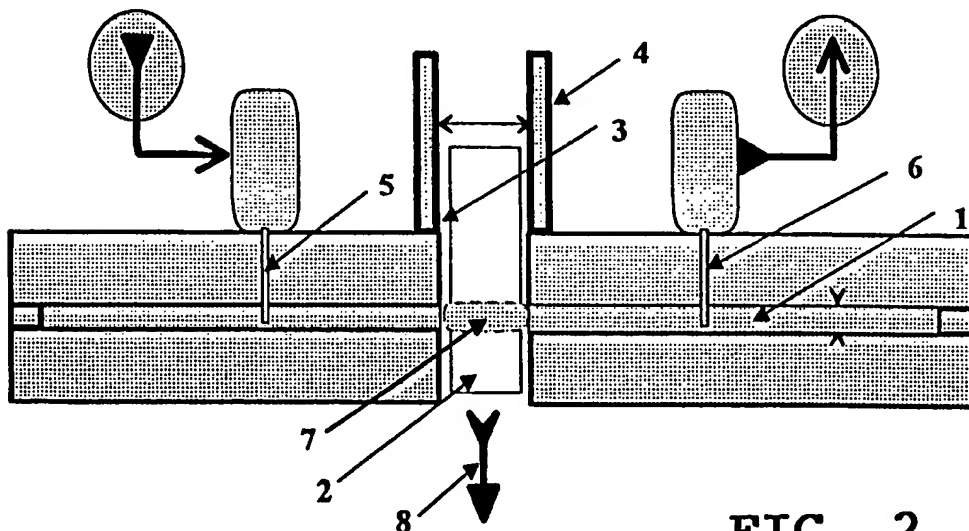
(72) Erfinder:  
Herrmann, Rainer, Dipl.-Phys.  
20253 Hamburg (DE)

(74) Vertreter:  
Glawe, Delfs, Moll & Partner  
Patentanwälte  
Rothenbaumchaussee 58  
20148 Hamburg (DE)

(54) **Feuchte- und Dichtesensor**

(57) Der Mikrowellenresonator zum Anschließen an ein Meßgerät zur Messung des Dichte- und/oder Feuchteprofils in Längsrichtung einer Probe, der eine Durchgangsbohrung (3) senkrecht zu seiner flächigen Erstreckung aufweist, die durch metallische, sich in Längsrichtung erstreckende Wandungen (4) begrenzt

ist, zeichnet sich dadurch aus, daß der Innenraum (1) des Resonators im wesentlichen flach mit einer Dicke, die wesentlich kleiner als die dazu senkrechten Querabmessungen ist, und daß der Resonator mit einem Dielektrikum gefüllt ist.



**FIG. 2**

EP 0 889 321 A1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen Mikrowellenresonator zum Anschließen an ein Meßgerät zur Messung des Dichte- und/oder Feuchteprofils in Längsrichtung nach einer Probe nach dem Oberbegriff von Anspruch 1. Die Erfindung betrifft auch ein Meßgerät für solche Messungen.

Häufig ist es erforderlich, das Dichte- und/oder Feuchteprofil in Längsrichtung einer Probe zu messen. Wichtige Beispiele hierfür sind die Dichtemessung in einem Zigarettenstrang, die Dichtemessung oder Feuchtigkeitsmessung in einem Wollfaden, einem Kunststoffprofil oder anderen Strängen. Aber auch bei kürzeren Proben müssen solche Messungen vorgenommen werden. Wenn man das Dichte- und/oder Feuchteprofil einer Holzfaserplatte oder Spanplatte bestimmen will, so wird man häufig einen zylindrischen Kern ausbohren, entlang dessen Zylinderachse man dann das Dichte- oder Feuchteprofil aufnimmt.

Für solche Messungen von Dichte- und Feuchteprofilen sind verschiedene Verfahren bekannt.

Mit Zigarettenmaschinen werden Zigaretten in großer Stückzahl hergestellt (bis zu 15.000 Zigaretten in der Minute). Um dabei eine optimale Tabakverdichtung an einem oder beiden Zigarettenenden zu erhalten, ist eine exakte Messung der Dichte notwendig. Dies wird heute in der Regel mit Hilfe von Gammastrahlen durchgeführt. Die Dämpfung der hochenergetischen Photonen ist dabei sowohl abhängig von der Dichte als auch von der Zusammensetzung des zu messenden Materials, insbesondere aber auch vom Wassergehalt des Tabaks. Die Dichtemessung ist daher mit Unsicherheiten behaftet. Außerdem ist man natürlich bestrebt, die nicht ungefährliche Gammastrahlungsmeßtechnik zu vermeiden. Die Verwendung von Infrarotstrahlung für solche Messungen hat den Nachteil starker Empfindlichkeit auf Oberflächeneffekte. Es können daher keine absoluten Dichtewerte, sondern nur prozentuale Angaben relativ zu einem Maximalwert einer Tabaksorte erzielt werden.

Auch die Dichteprofilmessung bei Holzfaserplatten ist im Hinblick auf die Qualitätssicherung eine wichtige Prozeßkenngröße. Die bisher wichtigste Meßmethode ist auch die Mitte der 70er Jahre entwickelte Gammastrahlungsmethode. Auch hier ist wieder von Nachteil, daß die Empfindlichkeit auch auf Produktfeuchtigkeit die Meßgenauigkeit der Dichtemessung begrenzt.

Es ist bekannt, sowohl die Dichte als auch die Feuchtigkeit von Materialien mit Hilfe von Mikrowellen zu messen, wobei die zu untersuchenden Produkte in einen Mikrowellenresonator eingesetzt werden (EP 0 468 023 B1). Der Nachteil dieses vorbekannten Verfahrens besteht aber darin, daß die Resonatoren und Proben verhältnismäßig groß sein müssen, so daß eine Messung eines Dichte- oder Feuchteprofils mit einer Auflösung von Millimetern nicht möglich ist. Der Grund liegt darin, daß die Mikrowellenfrequenz nicht beliebig

erhöht werden kann, da sonst keine genauen Meßwerte mehr erhalten werden können. Die Messungen sollten daher mit Mikrowellen in einem Frequenzbereich von 0,5 GHz bis höchstens 15 GHz durchgeführt werden, was Wellenlängen von 60 cm bis 2 cm entspricht. Eine besonders günstige Frequenz ist dabei 2,5 GHz, was einer Wellenlänge von 12 cm entspricht. Die Mikrowellenresonatoren haben dabei normalerweise Abmessungen von der Größenordnung einer Wellenlänge.

Es ist ein Mikrowellenresonator der eingangs genannten Art bekannt, der innen einen Vorsprung aufweist, durch den sich das zu messende Material hindurch bewegt (EP 0 292 571 Anspruch 1). Mit diesem Mikrowellenresonator können auch Messungen mit verhältnismäßig niedriger Frequenz durchgeführt werden. Der eigentliche Meßbereich ist dabei aufgrund des geringen Abstandes zwischen Vorsprungende und gegenüberliegender Hohlraumwand verhältnismäßig klein. Es tritt aber eine sehr große Feldinhomogenität auf. Das Mikrowellenfeld ist in der Mitte sehr groß und nimmt zum Rand hin deutlich ab, so daß einerseits keine gleichmäßige Messung über die ganze Probe möglich ist und andererseits Schwankungen der Meßwerte auftreten, wenn sich die Probe auch in Querrichtung bewegt.

Die Aufgabe der Erfindung besteht in der Schaffung eines Mikrowellenresonators sowie eines Meßgerätes mit einem solchen Mikrowellenresonator, mit denen Dichte- und Feuchtemessungen mit hoher Genauigkeit und Auflösungen durchgeführt werden können.

Die erfindungsgemäße Lösung besteht darin,

daß der Innenraum des Resonators im wesentlichen flach mit einer Dicke ist, die wesentlich kleiner als die dazu senkrechten Querabmessungen ist, und daß der Resonator mit einem Dielektrikum gefüllt ist.

Durch die Kombination eines sehr flachen Mikrowellenresonators und die Befüllung desselben mit einem Dielektrikum wird im eigentlichen Meßbereich ein sehr homogenes Mikrowellenfeld erreicht, wodurch genaue Messungen über den gesamten Querschnitt der Probe durchgeführt werden können, wobei ungenaue Ausrichtung der Probe in Querrichtung nur einen sehr kleinen Einfluß auf das Meßergebnis hat.

Es ist zwar bekannt, einen Mikrowellenresonator aus einem Dielektrikum herzustellen (US 5,105,158 A), der aber für sich einen Mikrowellenresonator bildet, ohne von einem metallischen Leiter, der den eigentlichen Mikrowellenhohlraum bildet wie beim Anmelungsgegenstand umschlossen zu sein. Dieser Resonator aus einem Dielektrikum dient auch nicht dazu, Messungen in Längsrichtung einer Probe vorzunehmen. Vielmehr sollen dort Messungen an flächigen Proben vorgenommen werden. Die Feldkonfiguration ist wegen dieser Unterschiede eine völlig andere, so daß der Entgegenhaltung keine Anregungen in Richtung auf

den erfindungsgemäßen Mikrowellenresonator entnommen werden können.

Erstaunlicherweise kann der Mikrowellenresonator sehr flach gemacht werden, wobei seine Dicke wesentlich kleiner ist als die Wellenlänge der Mikrowellen. Man erhält trotzdem am Probenort ausreichende Feldstärken, so daß man durch die Verschiebung der Resonanzkurve sowie die Verbreiterung derselben auf die an sich bekannte Weise (EP 0 468 023 B1) Feuchtigkeit und Dichte in einem kleinen Teilvolumen messen kann, so daß das Dichte- und/oder Feuchteprofil in Längsrichtung der Probe aufgenommen werden kann. Der Meßwertbereich kann auf 1 bis 3 mm begrenzt werden, wobei man die kleineren Längen z.B. für Zigaretten, die größeren für Holzfaserproben verwenden wird. Durch die metallischen Wandungen wird die Ausbreitung der Mikrowellen in den freien Raum verhindert.

Wenn gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform der Resonator mit einem Dielektrikum gefüllt ist, das den Resonator mit Ausnahme der Probendurchgangsöffnung ausfüllt, wird die Resonanzfrequenz erhöht bzw. bei konstanter Frequenz die Dimensionen des Hohlraums verringert. Die Messungen können dabei mit Mikrowellen niedriger Leistung (unter 10 Milliwatt) durchgeführt werden, so daß eine ins Gewicht fallende Erwärmung der Probe nicht stattfindet.

Vorteilhafterweise ist die Dicke des Resonators mindestens ungefähr 5 mal kleiner als die Querabmessungen desselben, insbesondere mindestens ungefähr 10 mal kleiner. Als Dielektrikum wird vorteilhafterweise ein solches gewählt, das eine relative Dielektrizitätskonstante  $\epsilon$  von 2 bis 100, vorteilhafterweise von 7 bis 15 hat.

Wenn die Durchgangsbohrungen durch metallische Rohre nach außen verlängert sind, so wird zusätzlich zu den Wandungen der Durchgangsbohrung verhindert, daß sich Mikrowellen durch die Durchgangsbohrungen nach außen ausbreiten können, wodurch das Resonanzverhalten verschlechtert und die Messung ungenauer oder sogar unmöglich würde.

Als besonders vorteilhaft hat sich ein zylinderförmiger Resonator erwiesen, der im  $E_{n10}$ -Mode ( $n = 0, 1, 2$ ) betrieben wird. Eine andere vorteilhafte Ausführungsform zeichnet sich dadurch aus, daß der Resonator rechteckig ist und im  $E_{110}$ -,  $E_{120}$ - oder  $E_{220}$ -Mode betrieben wird.

Die Erfindung wird im folgenden anhand von vorteilhaften Ausführungsformen unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen beispielsweise beschrieben. Es zeigen:

- Fig. 1 die Mikrowellenresonanzkurve eines Resonators im Zustand ohne Probe (leerer Resonator) oder mit Probe (gefüllter Resonator);
- Fig. 2 im Querschnitt eine Ausführungsform eines zylindrischen Resonators

Fig. 3 und Fig. 4

Fig. 5a

Fig. 5b

Fig. 6a

Fig. 6b

Fig. 7

Fig. 8

Fig. 9 und Fig. 10

Fig. 11

tors bei der Ausmessung einer Zigarette;

den Verlauf der elektrischen Feldlinien in einem kreiszylindrischen Resonator;

den Feldlinienverlauf bei einem Mikrowellenresonator in der Nähe des Probendurchgangs ohne Dielektrikum innerhalb des Resonators;

die Intensität der elektrischen Feldstärke in Querrichtung bei der Ausführungsform der Fig. 5a;

in ähnlicher Ansicht wie in Fig. 5a den Fall eines mit Dielektrikum versehenen Mikrowellenresonators;

die elektrische Feldstärke in Querrichtung bei der Ausführungsform der Fig. 6a;

eine grafische Darstellung des mit dem erfindungsgemäßen Meßgerät gemessenen Feuchte- und Dichteprofil einer Holzfaserplatte;

das Dichteprofil der Holzfaserplatte der Fig. 7 gemessen mit Hilfe von Gammastrahlung;

das Ergebnis von Dichte- und Feuchteprofilmessung an Zigaretten; und

einen rechteckigen Mikrowellenresonator der Erfindung.

In Fig. 1 sind die Resonanzkurven eines Resonators gezeigt. Man sieht, daß sich die Resonanzfrequenz mit steigender Füllung des Resonators zu niedrigeren Frequenzen verschiebt, wobei gleichzeitig die Amplitude der Resonanzkurven abnimmt und die Breite zunimmt. Daraus kann nach dem bekannten Verfahren die Dichte und die Feuchte bestimmt werden.

In Fig. 2 ist ein Querschnitt durch einen erfindungsgemäßen kreiszylindrischen Mikrowellenresonator 11 gezeigt, durch eine obere metallische Wand 9 und eine untere metallische Wand 10 begrenzt ist und mit Keramikmaterial 1 gefüllt ist. Er wird zum Ausmessen einer Holzprobe 2 verwendet, die sich in Richtung des Pfeiles 8 durch den Resonator 11 hindurchbewegt. Der Aufbau des entsprechenden Mikrowellenresonators für Zigaretten ist dabei im Prinzip der gleiche, wobei lediglich die Abmessungen desselben geringer sind. Insbesondere hat dort der Durchlaß für die Probe nicht einen Durchmesser von 35 mm, sondern einen wesentlich kleineren Durchmesser, der nur unwesentlich größer ist als der Zigaretten Durchmesser, d.h. ungefähr 9 bis 10 mm. Die Probe 2 wird durch eine Durchgangsbohrung 3 hindurchbewegt, an der außen noch ein kurzes Metallrohr 4 angebracht ist, durch die das Austreten von Mikrowel-

len verhindert werden soll. Die Mikrowellen werden über eine Antenne 5 eingekoppelt und über eine weitere Antenne 6 ausgekoppelt. Statt der Transmissionsmessung kann selbstverständlich auch eine Reflexionsmessung mit nur einer Antenne Verwendung finden. Die aktive Meßzone, die ungefähr die Dicke des Resonators 1 hat, ist mit 7 bezeichnet.

Die spezielle Fokussierung auf einen Raumbereich von wenigen Millimetern (bis hinab auf 1-3 mm) gelingt durch Anregung der Resonatoren in speziellen kreiszylindrischen E-Resonanzmoden (transversalen H-Moden, d.h. Moden, die in Richtung der Resonatorachse nur ein elektrisches Feld haben), deren longitudinale Modenkennzahl Null ist, was gleichbedeutend ist mit der Forderung, daß die elektrischen Feldlinien zwischen der metallischen Bodenplatte und Deckplatte auf dem kürzesten Wege verlaufen. Praktische Bedeutung haben für die Zigarettenmessung der  $E_{010}$ -Resonanzmodus (Grundmodus des kreiszylindrischen Resonators) sowie bei der Holzfasernplattenmessung die  $E_{110}$ - und  $E_{210}$ -Modi (1. Kennzahl: azimutale Symmetriebeschreibung bei Rotation um die longitudinale Achse, 2. Kennzahl: radiale Symmetriebeschreibung = Anzahl der Knoten in radialer Richtung, 3. Kennzahl: longitudinale Symmetriebeschreibung).

Auch Rechteckresonatoren lassen sich für die Profilmessung nutzen, indem im Grundmodus statt des  $E_{010}$  der rechteckige  $E_{110}$ -Modus derart eingesetzt wird, daß die Abflachung zur Fokussierung so erfolgt, daß die elektrischen Feldlinien auf dem kürzesten Weg zwischen Boden- und Deckplatte verlaufen. Als höhere Moden können der  $E_{120}$ , bzw. der  $E_{220}$ -Modus verwendet werden.

Die Resonanzfrequenz des Profilsensors mit einer Resonatorfüllung (z.B. Keramikmaterial mit DK-Wert = E) läßt sich grob abschätzen, durch Anwendung der bekannten, für den geschlossenen Resonator geltenden Ausdrücke. Beim kreiszylindrischen Resonator mit Resonatordurchmesser D gilt für den  $E_{mn0}$ -Modus:

$$f = c X_{mn} / (\pi \sqrt{\epsilon} D)$$

(c = Vakuum-Lichtgeschwindigkeit,  $X_{mn}$  = n-te Nullstelle der Besselfunktion m-ter Ordnung).

Bei Rechteckresonator mit den inneren Kantenlängen quer zur Profilrichtung A und B gilt für den  $E_{mn0}$ -Modus:

$$f = \frac{c}{2\pi\sqrt{\epsilon}} \sqrt{\left(\frac{\pi}{A} m\right)^2 + \left(\frac{\pi}{B} n\right)^2}$$

Dadurch kann der Abstand zwischen Boden und Deckplatte extrem klein gemacht werden, ohne daß sich die Resonanzfrequenz des Sensors wesentlich ändert. Dieser Abstand ist aber bestimmend für die räumliche Fokussierung des Meßfeldes. Damit ist der Abstand von Boden und Deckel vor allem durch die

benötigte Länge der Einkopplungs-Antennen begrenzt. Eine weitere Grenze wird durch das im Probenbereich zu einer erfolgreichen Messung nötige Mindestmaß an eine Feldstärke gegeben: Je kleiner der Abstand zwischen Boden- und Deckplatte im Resonator ist, um so kleiner ist die Feldstärke im Probenbereich. Praktisch lassen sich auf diese Weise Ortsauflösungen bis zu 1 mm in longitudinaler Richtung erzielen. Bei der Zigaretten-Profilmessung genügt eine Fokussierung auf 3 mm, bei der Holzfasernplatten-Profilmessung auf 2 mm.

Der Resonatorhohlraum ist durch zwei Lochöffnungen für die Durchführung der zu vermessenden Probe versehen, die aber jeweils durch 2 (im Falle des Grundmoden mindestens 5 mm, bei höheren Moden mindestens 10mm lange) metallische Kamme oberhalb und unterhalb des Resonatorbereiches ergänzt werden müssen. Damit können durch die Lochöffnungen für die Ober- und Unterseite des Resonators keine Mikrowellen austreten. Denn solange die Dielektrizitätskonstante des zu vermessenden Probenmaterials unterhalb eines kritischen Wertes liegt, der für alle Proben erfüllt wird, ist die für die Ausbreitung in den Anschlußkaminen typische Abschneidefrequenz deutlich über der Resonanzfrequenz des Resonators (ein ungefähres Maß für die kritische DK (Dielektrizitätskonstante) bildet für luftgefüllte kreiszylindrische Resonatoren, deren dritte Modenkennzahl 0 ist, etwa das Quadrat des Verhältnisses des Resonator- und des Probenrohrdurchmessers D, bzw.  $DK_{krit} = (D/d)^2$ , das bei D = 90mm und d = 10mm eine kritische DK von 81 ergibt). In longitudinaler Richtung nimmt somit die Mikrowellenintensität exponentiell sehr schnell ab, die gemessenen Verluste kommen allein durch Eigenschaften des Produktes und nicht durch Abstrahlungseffekte zustande.

Fig. 3 zeigt die Computer-Simulation der elektrischen Feldverteilung im kreiszylindrischen Profilsensor im ResonanzGrundmodus  $E_{010}$ , wobei im Probenbereich das elektrische Feld nicht wie beim geschlossenen Sensor sein Maximum hat, sondern in Folge der beiden eng benachbarten Boden- und Deckflächen ein lokales Minimum aufweist.

Die Resonanzfrequenz dieses Ausführungsbeispiels eines Zigaretten-Profilsensors zur Feuchte- und Dichtemessung beträgt 2589 MHz bei einem Resonator-Durchmesser von 90 mm, einem Probenrohrdurchmesser von 10 mm und einem Abstand von Boden- und Deckplatte von 3 mm, wenn der Resonator nicht mit einem Dielektrikum gefüllt ist.

Durch Auffüllen des Resonatorkörpers (außerhalb des Probenrohres) mit Mikrowellen-Keramikmaterial 1, wie in Fig. 1 dargestellt, läßt sich zum einen die geometrische Form des Sensors verkleinern. Durch Verwendung von Keramik mit DK = 9.2 verringert sich der Durchmesser des Resonatorkörpers von 90 mm auf 35 mm, wenn die Resonanzfrequenz etwa gleichbleibt. Dies ist für die Profilmessung bei modernen Zigarettenmaschinen erforderlich, da heute in der Regel zwei parallele Zigarettenstränge, die im Abstand von 50 mm

verlaufen, gefertigt werden und die Anbringung von Resonatoren die Doppelstranganordnung nicht stören darf.

Zum anderen wird durch die Keramikeinlage eine stärkere Fokussierung des Feldes erreicht, da ohne Keramik durch das exponentielle Abklingen des elektrischen Meßfeldes im Probenrohr die Ortsauflösung eingeschränkt wird. Dieser "Fokussierungsverlust", dem mit dieser Keramikeinlage entgegengewirkt wird, ist in Fig. 4 dargestellt.

In Fig. 5a ist der Verlauf der elektrischen Feldlinien gezeigt, wenn sich zwischen den metallischen Wänden 9,10 kein Dielektrikum befindet. In Fig. 6a sind die entsprechenden Verhältnisse für den Fall gezeigt, daß sich zwischen den metallischen Wänden 9,10 ein Dielektrikum 1 befindet. Mit dem Doppelpfeil 12 ist dabei noch die Ortsauflösung bezeichnet. In den Figuren 5b bzw. 6b sind für die beiden Fälle die elektrische Feldstärke in Querrichtung eingegeben. Wie man sofort sieht, wird durch das dielektrische Keramikmaterial 1 eine wesentlich größere Homogenität über den Meßbereich erzielt.

Während bei der Zigaretten-Profilmessung mit einer Probenöffnung von 9-10 mm alle praktisch vorkommenden Zigarettenarten mit einem Sensor im Grundmodus vermessen werden können, tritt bei der Profilmessung an Spanplatten eine Besonderheit auf: Erforderlich ist ein Sensor mit einem Probenrohrdurchmesser bis 35 mm, um dann mit einem geeigneten Werkzeug aus einer Spanplatte eine Probe herauszusägen (z.B. Lochkreissägen). Da die Proben darüber hinaus eine deutlich höhere Dichte besitzen, würde bei Verwendung des gleichen Resonatortyps wie bei der Zigaretten-Profilmessung die Mikrowellendämpfung durch Umwandlung von Mikrowellenenergie in Wärme zu groß werden.

Deshalb ist es für Holzplattenprofile von Vorteil, statt des Grundmodes die höheren Resonanzmoden zu verwenden, wie den  $E_{110}$ - oder  $E_{210}$ -Modus im Falle des kreiszylindrischen Resonators (bzw. die  $E_{210}$ - oder  $E_{220}$ -Moden beim rechteckigen Resonator). Ankopplungsmethode und Probenzuführung sind identisch mit Fig. 1, lediglich die Abmessungen verändern sich, wenn man bei der etwa gleichen Resonanzfrequenz arbeiten möchte (siehe Fig. 2 in der ein Ausführungsbeispiel bei Verwendung des kreiszylindrischen  $E_{110}$ -Modus bei einer Resonanzfrequenz von 2.5 GHz und einem Resonator-Innendurchmesser von 180 mm dargestellt wurde, Probenrohrdurchmesser: 35 mm, Abstand. Bodenplatte - Deckplatte: 2 mm, Kaminhöhe: 10 mm).

Da der Quotient aus Resonanzfrequenz-Verbreiterung und -Verschiebung gegenüber einem Leerresonanz-Bezugs-Punktpaar nach dem eingangs zitierten Patent nur von der Feuchte, nicht aber von der Dichte abhängt, kann dieser Mikrowellen-Feuchtemeßwert zur Kalibration gegen ein direktes Feuchte-Meßverfahren (Karl-Fischer-Titration, Trockenschrankmethoden, etc) genutzt werden. Gleichzeitig besteht die Möglichkeit einer feuchteunabhängigen Dichtekalibration, indem

der Feuchteeinfluß auf das primäre Mikrowellen-Dichtesignal, die Resonanzfrequenz-Verschiebung bei der Dichtekalibration erfaßt wird (als dreidimensionale Kalibrationsfläche, deren drei Achsen durch die Achse der Mikrowellen-Dichtemeßwerte, die der Mikrowellen-Feuchtemeßwerte und die der Referenz-Dichtewerte gebildet werden).

Die besonderen Eigenschaften dieser Feuchte- und Dichtekalibrationen, wie die Unabhängigkeit vom speziellen Gerätetyp, die Langzeitstabilität, die weitgehende Unabhängigkeit von Produktsorte und Zuschlagsstoffen, die Unabhängigkeit von Anbaug Gebiet und Oberflächeneigenschaften (Farbe, etc.), gelten ebenfalls für die vorgestellten Sensoren zur Profil-Feuchte- und Dichtemessung.

Auf dieser Grundlage lassen sich die unterschiedlichsten Zigarettenarten, basierend auf unterschiedlichen Tabakmischungen und Zuschlagsstoffen, mit einer einzigen Kalibrationskurve sowohl für die Dichte- wie die Feuchtemessung vermessen und direkt miteinander vergleichen. Entsprechendes gilt auch für die Messung bei anderen Proben oder Strängen, wie z.B. Holzfaser-Bohrkernen, Wollfäden, Kunststoffsträngen usw..

Fig. 7 zeigt die mit der Anordnung von Fig. 2 gewonnenen Meßergebnisse der gleichzeitigen Feuchte- und Dichteprofilmessungen in Holzfaserplatten. Während die Feuchtwerte an beiden Seiten der Platte wie zu erwarten ist, deutlich absinken, haben die Dichtewerte einen ähnlichen Verlauf wie die parallel durchgeführte traditionelle Methode der Gammastrahlungsprofil-Messung. Mit "X" ist dabei die Dichte im Meßbereich 300-1300 mg/cm<sup>2</sup> bezeichnet, während die Feuchte mit "0" im Bereich von 0-10 % dargestellt ist. In Fig. 8 ist das entsprechende Dichteprofil dargestellt, das mit einer Gammastrahlungsmessung bestimmt wurde. Die Probendicke betrug dabei 37 mm und der Probendurchmesser 35 mm.

Fig. 9 und 10 zeigen die Ergebnisse der gleichzeitigen Dichte- und Feuchtepfilmessungen an Zigaretten. In Fig. 11 ist ein rechteckiger Mikrowellenresonator gezeigt.

#### Patentansprüche

1. Mikrowellenresonator zum Anschließen an ein Meßgerät zur Messung des Dichte- und/oder Feuchteprofils in Längsrichtung einer Probe, der eine Durchgangsbohrung (3) senkrecht zu seiner flächigen Erstreckung aufweist, die durch metallische, sich in Längsrichtung erstreckende Wandungen (4) begrenzt ist, dadurch gekennzeichnet, daß der Innenraum (1) des Resonators im wesentlichen flach mit einer Dicke ist, die wesentlich kleiner als die dazu senkrechten Querabmessungen ist, und daß der Resonator mit einem Dielektrikum gefüllt ist.
2. Mikrowellenresonator nach Anspruch 1, dadurch

gekennzeichnet, daß die Dicke mindestens ungefähr 5 mal kleiner ist als die Querabmessungen.

3. Mikrowellenresonator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Dicke mindestens ungefähr 10 mal kleiner ist als die Querabmessungen. 5
4. Mikrowellenresonator nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Dielektrikum eine relative Dielektrizitätskonstante  $\epsilon$  von ungefähr 2 bis 100 hat. 10
5. Mikrowellenresonator nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Dielektrikum eine relative Dielektrizitätskonstante  $\epsilon$  von ungefähr 7 bis 15 hat. 15
6. Mikrowellenresonator nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Durchgangsbohrung (3) durch metallische Rohre (4) nach außen verlängert ist. 20
7. Meßgerät unter Verwendung eines Mikrowellenresonators nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Resonator (1) zylinderförmig ist und im  $E_{n10}$ -Mode ( $n = 0, 1, 2$ ) betrieben wird. 25
8. Meßgerät unter Verwendung eines Mikrowellenresonators nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Resonator (1) rechteckig ist und im  $E_{110}$ -,  $E_{120}$ - oder  $E_{220}$ -Mode betrieben wird. 30

35

40

45

50

55

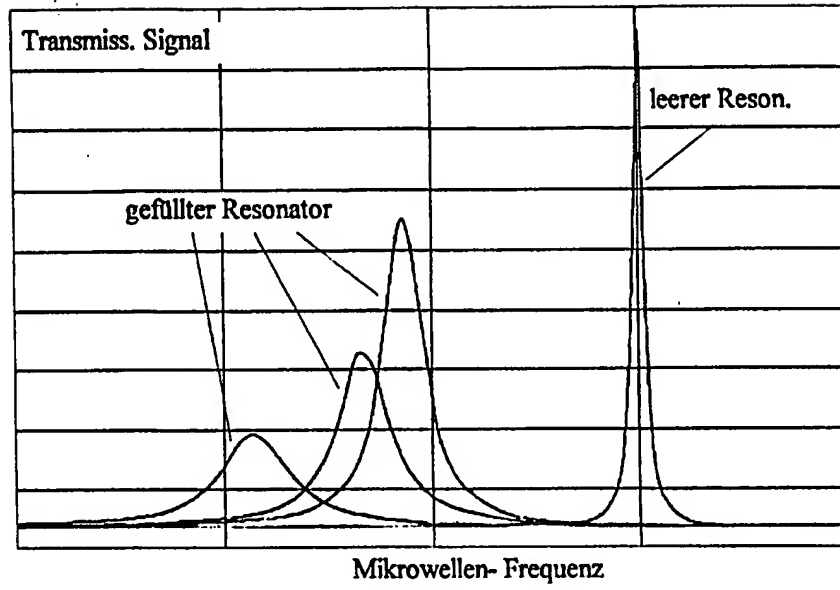


FIG. 1

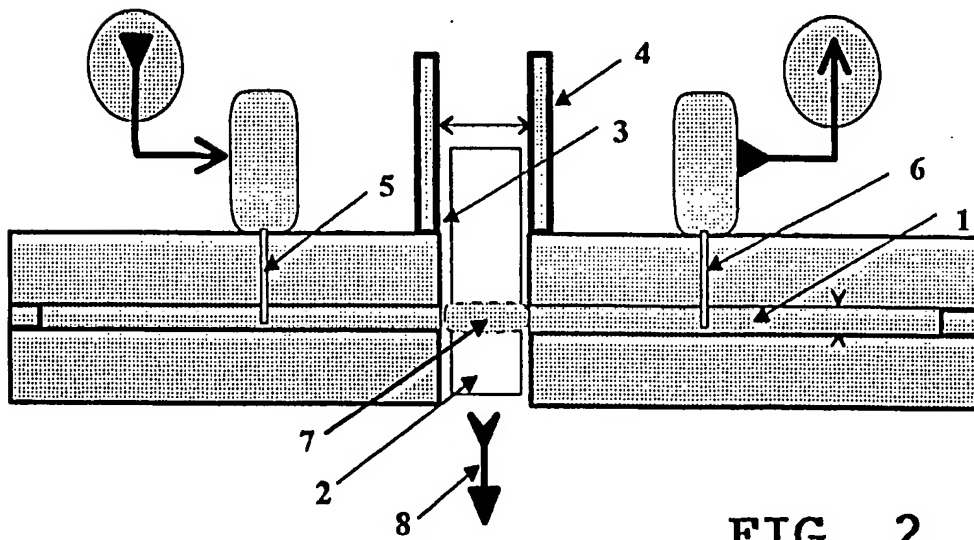


FIG. 2



FIG. 3

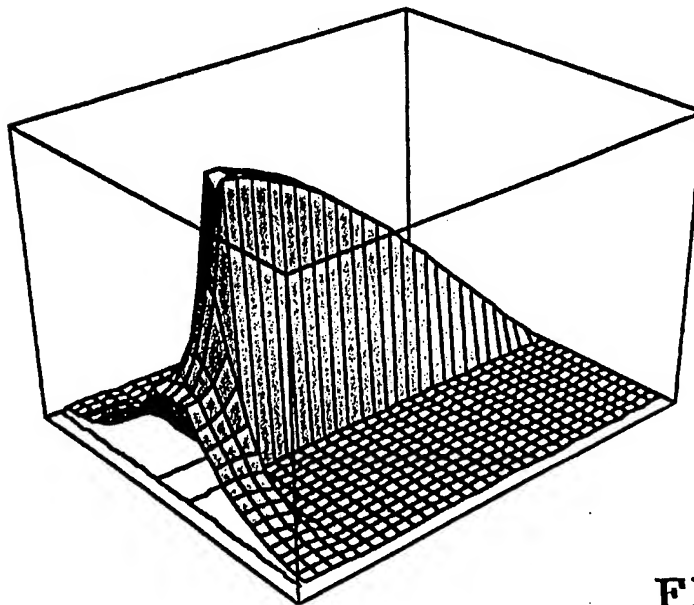
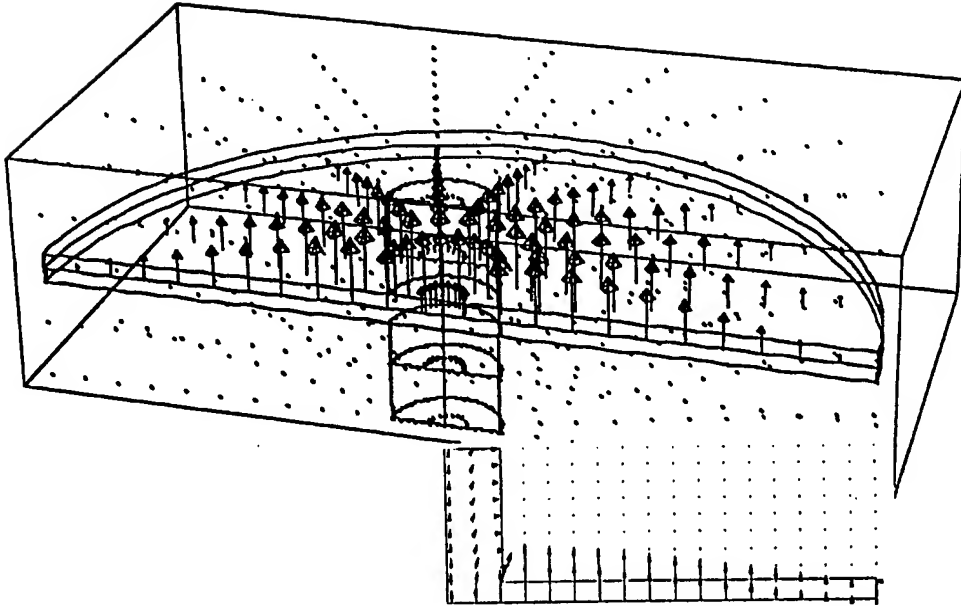


FIG. 4

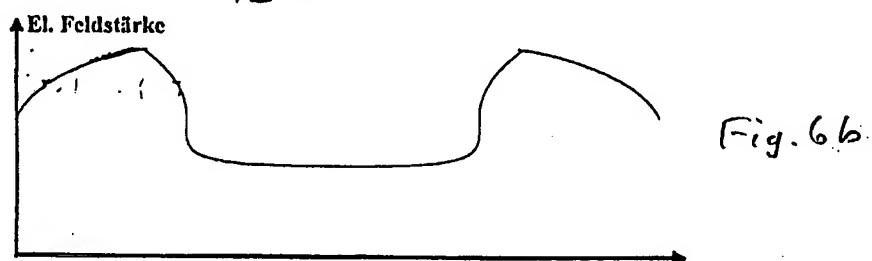
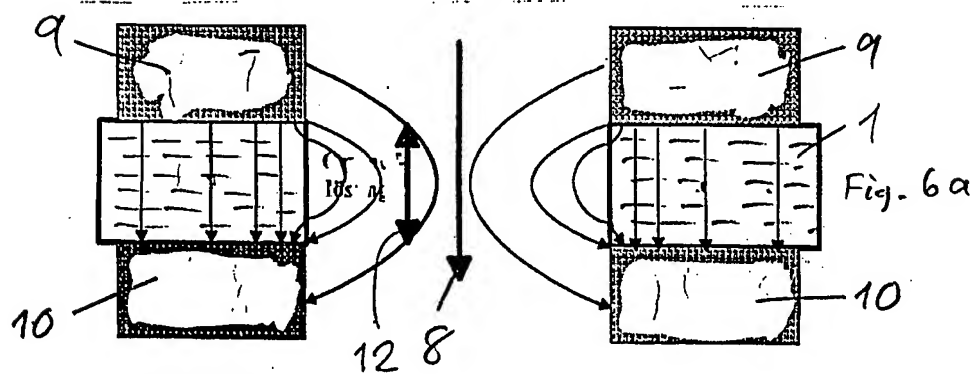
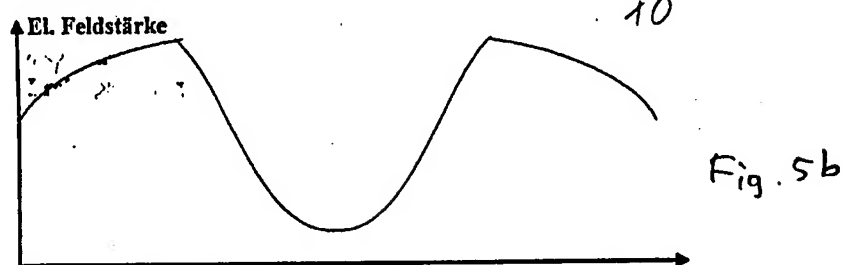
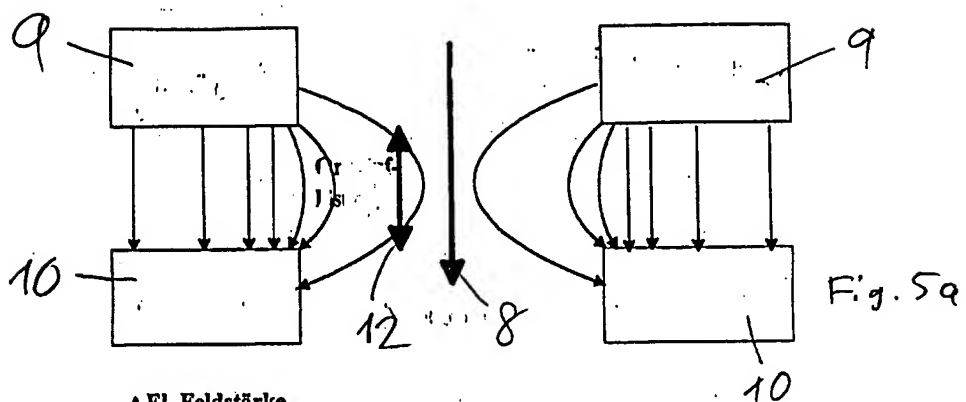


FIG. 7

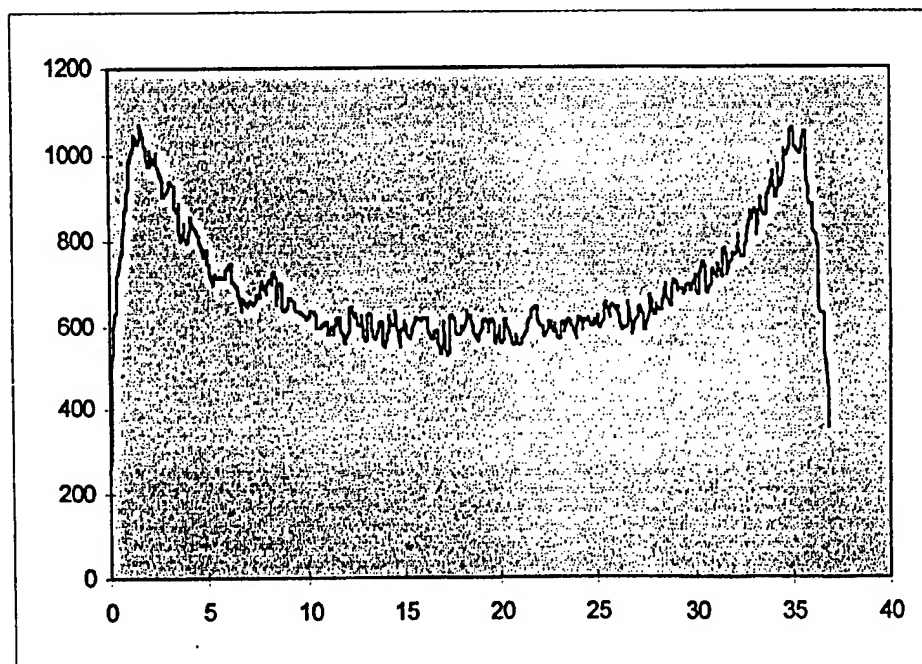
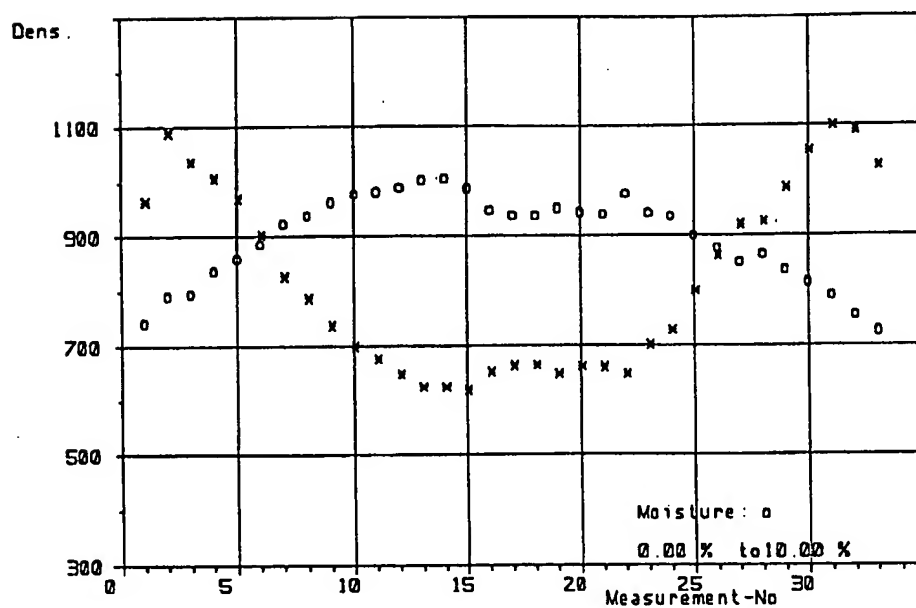


FIG. 8

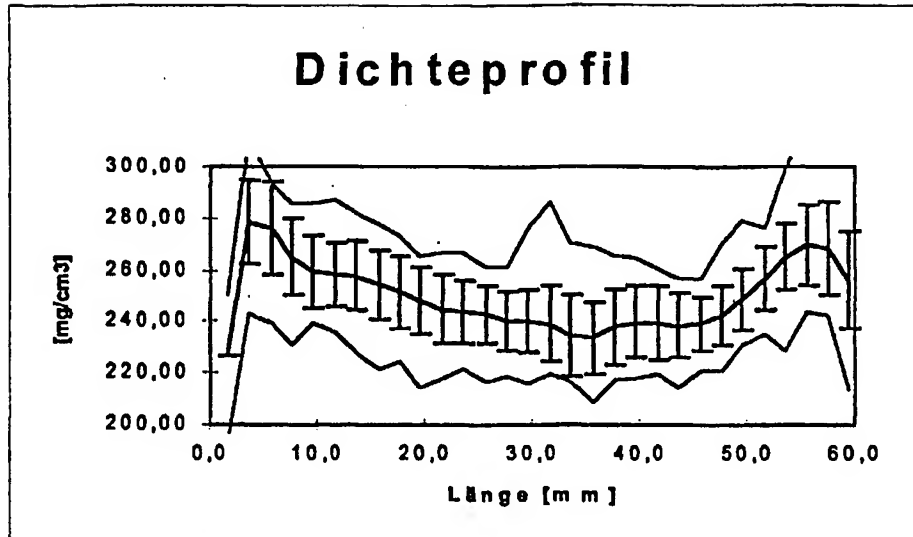


FIG. 9

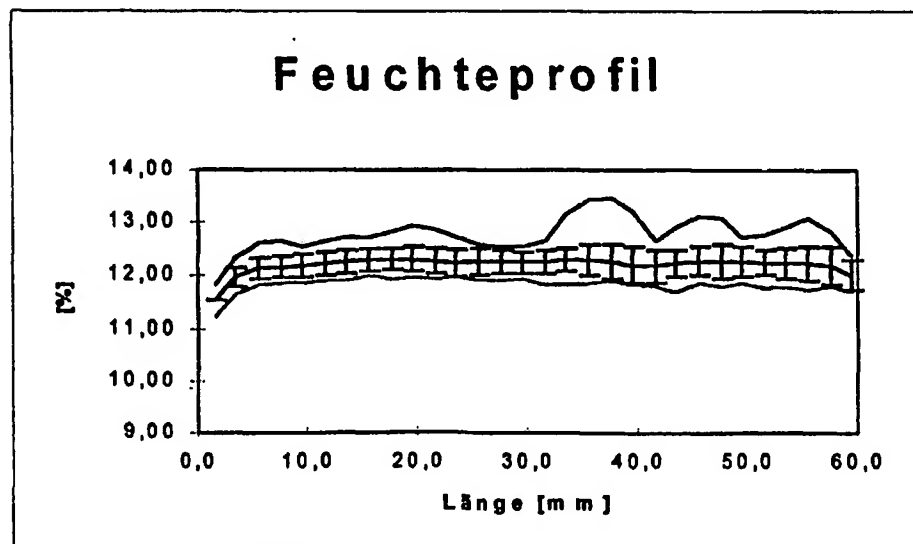


FIG. 10

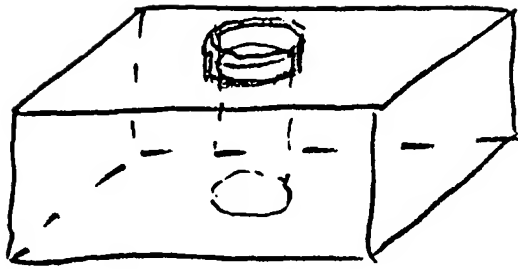


Fig. 11



Europäisches  
Patentamt

# EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 98 11 0821

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.6)
D, Y	EP 0 292 571 A (DIPOLE ELECTRONICS CO LTD) 30. November 1988 * Seite 5, Zeile 2 - Seite 6, Zeile 26 * * Seite 12, Zeile 14 - Seite 13, Zeile 14 * * Abbildungen 5A, 5B *	1, 2, 7, 8	G01N22/00 G01N22/04
Y	DE 25 52 954 A (BAYER AG) 2. Juni 1977 * Ansprüche 1-3, 7 *	1, 2, 7, 8	
A	US 5 554 935 A (KRASZEWSKI ANDRZEJ W ET AL) 10. September 1996 * Spalte 4, Zeile 61 - Spalte 5, Zeile 44 * * Abbildungen 1-3 *	1, 2, 7, 8	
D, A	US 5 105 158 A (FIEDZIUSZKO SLAWOMIR J ET AL) 14. April 1992 * Spalte 2, Zeile 66 - Spalte 3, Zeile 5 *	4, 5	
D, A	EP 0 468 023 B (TEWS ELEKTRONIK) 18. Oktober 1995 * Ansprüche 1, 4 *	1, 7, 8	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.6)
A	US 4 297 874 A (SASAKI SHINICHI) 3. November 1981 * Spalte 2, Zeile 39 - Spalte 3, Zeile 6 * * Abbildungen 1, 2 *	1, 9	G01N
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer	
DEN HAAG	5. Oktober 1998	Krametz, E	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**